

# Caractéristiques de combustion de la biomasse

S. Clarke, ing. et F. Preto, Ph.D.

## Fichetechnique

COMMANDE N° 11-034

AGDEX 737/120

JUIN 2011

### INTRODUCTION

Il est possible de cultiver de la biomasse solide en vue de l'utiliser comme combustible à la ferme ou de la vendre. La présente fiche technique décrit les caractéristiques physiques et chimiques des biocombustibles solides, explique leur importance et contient un tableau de données détaillées sur les propriétés de 22 biocombustibles courants en Ontario.

### QU'EST-CE QUE LA BIOMASSE?

La biomasse est une matière organique dérivée de plantes dont la croissance nécessite l'énergie solaire. Lorsqu'elle est brûlée, la biomasse libère l'énergie qu'elle contient pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Les cultures, leurs résidus et les produits forestiers sont des exemples courants de biomasse solide. Le panic raide (figure 1) est une plante employée à cette fin.

L'utilisation de biomasse pour la production d'énergie présente différents avantages :

- La biomasse est une source d'énergie abondante et renouvelable.
- Son utilisation pour la production d'énergie permettrait de diversifier les sources d'énergie et de réduire notre dépendance à l'égard des combustibles fossiles.
- La production de biomasse pourrait créer de nouveaux emplois locaux en Ontario.



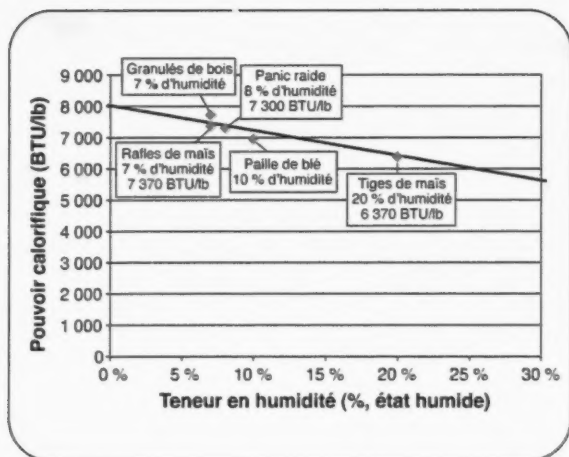
Figure 1. Champ de panic raide.

### CONTENU ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE

Le pouvoir calorifique d'un combustible indique l'énergie qu'il contient par unité de masse, exprimée en MJ/kg (BTU/lb). Le pouvoir calorifique inférieur est l'énergie effectivement disponible pour le transfert thermique. Cette différence sur le plan de l'énergie utilisable repose sur la composition chimique et la teneur en humidité et en cendres du combustible. À des fins de comparaison, le contenu énergétique des combustibles est exprimé sur une base sèche. Par exemple, la plupart des résidus agricoles présentent un pouvoir calorifique de 14 à 19 MJ/kg (6 040 à 8 200 BTU/lb), par rapport à 17 à 30 MJ/kg (7 300 à 13 000 BTU/lb) pour le charbon.

### HUMIDITÉ

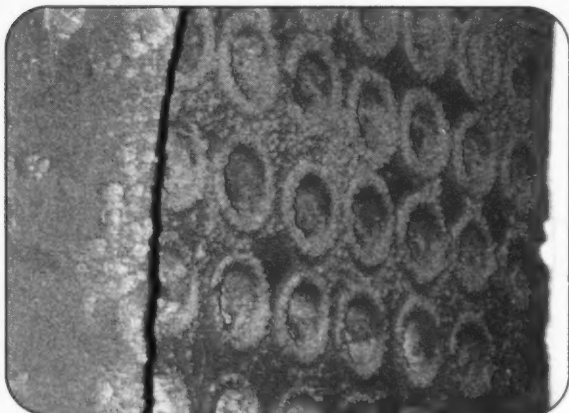
La teneur en humidité est le principal facteur qui permet de déterminer le contenu énergétique net de la biomasse. La biomasse sèche présente un pouvoir calorifique (ou potentiel énergétique net) plus élevé, car peu de son énergie est dépensé pour évaporer l'humidité qu'elle renferme. La figure 2 illustre ce lien ainsi que la corrélation entre le contenu énergétique et la teneur en humidité. Plus il y a d'humidité, moins la biomasse produira d'énergie lors de sa combustion.



**Figure 2.** Pouvoir calorifique inférieur typique (BTU/lb) en fonction de la teneur en humidité. Cette teneur, exprimée à l'état humide, représente la proportion (%) de la biomasse brute qui se compose d'eau.



**Figure 3.** Le mâchefer peut encrasser les éléments de la chaudière. Source : CanmetÉNERGIE.



**Figure 4.** L'encrassement des tubes de chaudière réduit l'efficacité de fonctionnement. Source : CanmetÉNERGIE.

En général, la teneur d'un solide en humidité est exprimée en quantité d'eau par unité de masse. Elle est habituellement indiquée telle quelle ou à l'état humide, où la teneur en eau représente une fraction de la masse totale. Tous les produits de biomasse contiennent de l'humidité; elle peut aller de 8 % pour la paille sèche à plus de 50 % pour le bois fraîchement coupé.

Une teneur élevée en humidité est défavorable à la collecte, à l'entreposage, au prétraitement, à la manutention et au transport de la biomasse. En outre, le transport de matières humides coûte plus cher.

Il est possible de réduire la teneur de la biomasse brute en humidité par les moyens suivants :

- laisser la biomasse sécher dans le champ pendant plusieurs semaines
- entreposer la biomasse à l'abri des précipitations
- assurer le séchage commercial de la biomasse

## COMPOSITION DE LA BIOMASSE

La composition des divers types de biomasse varie considérablement. C'est sur elle que repose son rendement comme combustible. La teneur en cendres, carbone, hydrogène, azote, soufre, oxygène et chlore est importante sur ce plan. La teneur en ces éléments de divers biocombustibles utilisés en Ontario figure au tableau 1. Les valeurs sont exprimées à l'état sec.

### Cendres

Les éléments non combustibles de la biomasse sont appelés « cendres ». Une forte teneur en cendres donne lieu à des problèmes liés à l'encrassement, surtout si les cendres contiennent une proportion élevée d'halogénures métallisés (p. ex., potassium). Malheureusement, les biocombustibles, particulièrement les cultures ou résidus de cultures, tendent à contenir beaucoup de cendres ayant une teneur élevée en potassium. Ces cendres fondent donc à des températures plus basses, causant la formation de mâchefer qui peut encrasser les éléments de la chaudière (figure 3). Une scorification et un encrassement peuvent également se produire lorsque les cendres sont vaporisées puis se condensent dans la chaudière, causant la production de résidus durs sur les surfaces d'échange thermique (figure 4).

**Tableau 1.** Analyse élémentaire de divers biocombustibles employés en Ontario (chiffres à l'état sec)

Type de biomasse			Valeurs caractéristiques <sup>1</sup>						
			Cendres %	Carbone %	Hydrogène %	Azote %	Soufre %	Oxygène % <sup>2</sup>	Chlore total (µg/g) <sup>3</sup>
Produits non conformes (non alimentaires)									
Haricots	19	7 996	4,7	45,7	6,3	4,3	0,7	38,8	193
Maïs	17	7 350	1,5	42,1	6,5	1,2	0,1	48,9	472
Canola	28	12 220	4,5	60,8	8,3	4,5	0,5	21,4	163
Drêche sèche de distillerie	22	9 450	4,9	50,4	6,7	4,7	0,7	32,6	1 367
Graminées et cultures fourragères									
Barbon de Gérard	19	8 020	6,1	44,4	6,1	0,8	0,1	42,6	1 880
Miscanthus	19	8 250	2,7	47,9	5,8	0,5	0,1	43,0	1 048
Sorgho	17	7 240	6,6	45,8	5,3	1,0	0,1	42,3	760
Panic raide	18	7 929	5,7	45,5	6,1	0,9	0,1	41,7	1 980
Paille et résidus									
Luzerne	17	7 435	9,1	45,9	5,2	2,5	0,2	39,5	3 129
Paille d'orge	17	7 480	5,9	46,9	5,3	0,7	0,1	41,0	1 040
Rafles de maïs	18	7 927	1,5	48,1	6,0	0,4	0,1	44,0	2 907
Tiges de maïs	19	7 960	5,1	43,7	6,1	0,5	0,1	44,6	1 380
Paille de lin	18	7 810	3,7	48,2	5,6	0,9	0,1	41,6	2 594
Paille de blé	18	7 710	7,7	43,4	6,0	0,8	0,1	44,5	525
Sous-produits de transformation									
Écales d'avoine	19	7 960	5,1	46,7	6,1	0,9	0,1	41,1	1 065
Pellicules de soya	18	7 720	4,3	43,2	6,2	1,8	0,2	44,3	266
Écales de tournesol	20	8 530	4,0	47,5	6,2	1,0	0,2	41,2	3 034
Bois									
Écorce	19	8 432	1,5	47,8	5,9	0,4	0,1	45,4	257
Saule	19	8 550	2,1	50,1	5,8	0,5	0,1	41,4	134
Bois de feuillus	19	8 300	0,4	48,3	6,0	0,2	0,0	45,1	472
Charbon									
Charbon subbitumineux à faible teneur en soufre – BRP <sup>4</sup>	25	10 520	6,0	55,0	3,7	0,9	0,4	11,5	35
Lignite	22	9 350	22,0	58,8	4,2	0,9	0,5	13,6	25

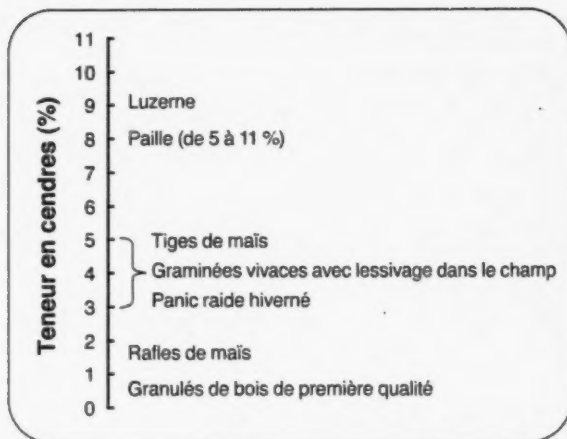
<sup>1</sup> La teneur en cendres, en chlore et en autres éléments peut être abaissée en modifiant les cultures choisies, les conditions de croissance, les fractions végétales employées ainsi que le moment et la méthode de récolte.

<sup>2</sup> Calculé de façon différentielle, c'est-à-dire en fonction de la différence entre deux chiffres en pourcentage de l'un d'entre eux. Par exemple, la différence entre 5 et 3 en pourcentage est égale à  $2/5 = 0,4 = 40\%$ .

<sup>3</sup> Un microgramme (µg) est une unité de masse égale à 1/1 000 000 de gramme ( $1 \times 10^{-6}$ ) ou à 1/1 000 de milligramme. Il s'agit de l'une des plus petites unités courantes de masse.

<sup>4</sup> Bassin de la rivière Powder.

Données compilées à partir des sources suivantes : AURI, 2005; BIOBIB; Preto, 2010.



**Figure 5.** Teneur typique en cendres de certains produits de biomasse à l'état sec. Source : AURI, 2005; Preto, 2010.

Le bois (excluant l'écorce) compte moins de 1 % de cendres, alors que l'écorce peut en contenir jusqu'à 3 %. Les cultures en renferment une plus forte proportion, soit 3 % et plus (figure 5). Certains poêles et chaudières ne peuvent brûler convenablement les combustibles à forte teneur en cendres. Plus il y a de cendres, plus il faut d'entretien.

### Carbone

La teneur en carbone de la biomasse est d'environ 45 %, alors que le charbon en contient au moins 60 % (Demirbas, 2007). Une plus forte teneur en carbone donne un pouvoir calorifique plus élevé.

### Hydrogène

La teneur en hydrogène de la biomasse est d'environ 6 % (Jenkins, 1998). Une plus forte teneur en hydrogène donne un pouvoir calorifique plus élevé.

### Azote

La teneur en azote de la biomasse varie de 0,2 % à plus de 1 % (Jenkins, 1998). L'azote contenu dans les combustibles est à l'origine de la plupart des rejets d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) résultant de la combustion de biomasse. Une teneur plus faible en azote permet de réduire les rejets de  $\text{NO}_x$ .

### Soufre

Les plupart des biocombustibles présentent une teneur en soufre de moins de 0,2 %, mais certains peuvent en contenir de 0,5 % à 0,7 %. Le charbon en contient de 0,5 % à 7,5 % (Demirbas, 2007). La combustion donne lieu au rejet d'oxydes de soufre ( $\text{SO}_x$ ), qui contribuent considérablement à la formation de

pollution particulaire et de pluies acides. Comme la biomasse contient une teneur négligeable en soufre, sa combustion ne contribue pas de façon importante aux émissions de soufre.

### Chlore

La combustion de biomasse présentant une teneur élevée en chlore (plus de 1 000  $\mu\text{g/g}$ ) peut accélérer l'encrassement par les cendres. Une forte teneur en chlore entraîne la formation d'acide chlorhydrique dans les tubes de chaudière, causant de la corrosion qui peut donner lieu à la défaillance des tubes et à des fuites d'eau dans la chaudière. On a déjà constaté que des combustibles tels que les tiges et ralles de maïs peuvent provoquer ce problème.

### PROPRIÉTÉS DE LA BIOMASSE

Le tableau 1 présente l'analyse élémentaire de divers types de biomasse. À des fins de comparaison, toutes les données sont à l'état sec. Ce tableau ne représente toutefois qu'un guide comparatif général.

Il importe de souligner que la biomasse est naturellement d'une composition variable, qui dépend des facteurs suivants :

- emplacement
- variété
- conditions climatiques
- méthodes de récolte

### PROCÉDÉS DE RÉDUCTION DE LA TENUEUR EN CENDRES, EN CHLORE ET EN AUTRES ÉLÉMENTS

Il existe diverses stratégies de gestion visant à réduire la teneur en cendres et en éléments qui nuisent au processus de combustion; elles concernent notamment la sélection des cultures, les conditions de croissance, les fractions végétales employées, le moment de la récolte et la réduction de la contamination par la terre.

### Sélection des cultures

La teneur en cendres des graminées de saison chaude, comme le barbon de Gérard, le panic raide et des plantes annuelles telles que le maïs, est inférieure à celle des graminées de saison fraîche comme le dactyle pelotonné, les fétuques et l'ivraie vivace (Mehdi et Samson, 1998).

**Tableau 2.** Teneur en cendres (%) du panic raide récolté au printemps dans l'Est de l'Ontario et le Sud-Ouest du Québec (adapté de Samson et coll., 1999b).

Élément	Teneur en cendres du panic raide (%)
Feuilles	7,0
Gaines foliaires	3,0
Tiges	1,0
Épis	2,4

### Conditions de croissance

Le type de sol influe considérablement sur la teneur en cendres de la biomasse. On en trouve une teneur plus élevée dans les cultures produites dans un sol argileux que dans un sol sableux.

### Fractions végétales

Les cendres se composent surtout de silice et de potassium. La répartition et la composition des cendres varient selon la fraction végétale. Ainsi, la teneur en cendres est la plus faible dans les tiges des graminées et la plus élevée dans leurs feuilles (Samson et coll., 1999b). La récolte de biomasse comportant une plus forte proportion de tiges réduira la teneur en cendres, améliorant ainsi la qualité de la biomasse destinée à la combustion. Voir le tableau 2.

### Récolte effectuée après le lessivage

La teneur en cendres, en chlore et en potassium peut être réduite en laissant la biomasse coupée dans le champ pendant l'hiver. L'hivernage du panic raide dans le champ peut faire tomber à 3,5 % la teneur en cendres par lessivage et perte de fractions végétales contenant plus de cendres (p. ex., les feuilles). Cependant, il est coûteux de récolter au printemps, car il y a des pertes de biomasse de 20 à 50 %.

### Réduction de la contamination par la terre

Il importe que les résidus de culture comprennent le moins possible de particules de terre, qui augmentent considérablement la teneur en cendres de la biomasse. Il y a lieu de privilégier des techniques de récolte mécanique permettant d'éviter de soulever la terre (p. ex., couper la biomasse en laissant une hauteur de chaume plus élevée).

## RÉSUMÉ

Les produits de biomasse sont très variés : bois, écorce, paille, autres résidus agricoles, graminées, fourrages, produits non conformes, etc. Malgré cette diversité, la composition de la plupart de ces produits est relativement uniforme, particulièrement à l'état sec. Le contenu énergétique (par unité de masse) de la plupart des biocombustibles secs est de 17 à 19 MJ/kg (7 300 à 8 000 BTU/lb). Les différences sur ce plan sont attribuables à des variations de la masse volumique et de la teneur en humidité.

La plupart des biocombustibles ont une teneur assez faible en azote et en soufre, ce qui cause relativement peu d'émissions de SO<sub>x</sub> et de NO<sub>x</sub>. Ce sont surtout les produits non conformes autres que des céréales alimentaires qui échappent à cette règle.

C'est sur le plan de la teneur en cendres que les biocombustibles se distinguent le plus les uns des autres. Le bois, biocombustible traditionnel, en contient généralement moins de 0,5 %. L'écorce en renferme de 2 à 3 %, et ce taux passe à plus de 5 % pour la plupart des graminées et résidus agricoles. Une teneur élevée en cendres peut causer beaucoup d'encrassement, donner lieu à la formation de mâchefer et compliquer la manutention.

Il faut utiliser ces biocombustibles avec soin et concevoir des systèmes de conversion adaptés spécialement à celui que l'on compte employer. Ainsi, les systèmes conçus pour le bois (ou le charbon) pourraient être inappropriés pour d'autres biocombustibles.

### TABLEAU DE CONVERSION

De	à	Multiplier par
MJ/kg	BTU/lb	430
BTU/lb	GJ/t	0,00233



## AUTRES RESSOURCES

Agence internationale de l'énergie (AIE). Propriétés de la biomasse sur le plan de la combustion et de la coalimentation.  
[www.ieabcc.nl](http://www.ieabcc.nl)

Amos National Renewable Energy Laboratory. Propriétés de la biomasse qui sont pertinentes aux fins de la gazéification.  
[www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/docs/ Biopower\\_Assessment.pdf](http://www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/docs/Biopower_Assessment.pdf)

BIOBIB, Université technique de Vienne, Autriche. Base de données sur les propriétés de la biomasse.  
[www.vt.tuwien.ac.at/biobib/biobib.html](http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/biobib.html)

CanmetÉNERGIE. Systèmes de bioénergie.  
[www.canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca](http://www.canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca)

Département de l'Énergie des États-Unis. Base de données sur la composition et les propriétés des matières biologiques.  
[www.eere.energy.gov/biomass/feedstock\\_databases.html](http://www.eere.energy.gov/biomass/feedstock_databases.html)

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.  
[www.ontario.ca/agricultureverte](http://www.ontario.ca/agricultureverte)

Phyllis. Base de données sur les propriétés de la biomasse et des déchets.  
[www.ecn.nl/phyllis](http://www.ecn.nl/phyllis)

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australie. Base de données sur la biomasse.  
[www.det.csiro.au/science/energyresources/biomass](http://www.det.csiro.au/science/energyresources/biomass)

## OUVRAGES CONSULTÉS

AURI. 2005. *Agricultural renewable solid fuels data*. Site Web de l'Agricultural Utilization Research Institute Fuels Initiative : [www.auri.org](http://www.auri.org).

Amos, W.A., et R.L. Bain. 2003. *Highlights of biopower technical assessment: State of the industry and technology*, Golden (Colorado), National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-510-33502.

Baxter, L.L., et coll. 1998. « Combustion properties of biomass », *Fuel Processing Technology*, vol. 54, n° 1, p. 17–46.

Cherney, J. H. — communication personnelle; 2008. *Production of grass in the northeast*, Grass Energy Symposium, Shelburne (Vermont).

Ciolkosz, D. 2010. *Renewable and alternative energy fact sheet*, Pennsylvania State University, Pennsylvanie, États-Unis.

Demirbas, A. 2004. « Combustion characteristics of different biomass fuels », *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, n° 2, p. 219–230.

Mehdi, B., et R. Samson. 1998. *Strategies to reduce the ash content in perennial grasses*, Resource efficient Agricultural Production-Canada, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec).

Pahkala, K., T. Mela, H. Hakkola, A. Jarvi et P. Virkajari. 1996. *Production and use of agrofibre in Finland. Part 1: Production of agrofibre crops: Agronomy varieties*. Agricultural Res. Centre of Finland, Jokioinen, Finlande.

Preto, F. 2010. *Properties of the 13 common biomass fuels in Ontario*, Ressources naturelles Canada (RNCan), Ottawa (Ontario).

Samson, R., P. Girouard et B. Mehdi. 1999b. *Establishment of commercial switchgrass plantations*, Resource efficient Agricultural Production-Canada, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec).

Scurlock, J. 2008. *Bioenergy feedstock development programs*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge (Tennessee), États-Unis.

## **REMERCIEMENTS**

Merci beaucoup à Chantal Quesnel et à Benjamin Bronson d'avoir contribué au présent document et de l'avoir examiné de façon consciencieuse, ainsi qu'à Shalin Khosla, spécialiste de la culture de serre, MAAARO, Harrow, qui nous a beaucoup aidés à évaluer des combustibles de remplacement.

La présente fiche technique a été rédigée par Steve Clarke, ing., spécialiste, énergie et génie agricole, MAAARO, Kemptville, et par Fernando Preto, Ph.D., chercheur, CanmetÉNERGIE, Ottawa.



POD  
ISSN 1198-7138  
Also available in English  
(Order No. 11-033)

Centre d'information agricole :  
1 877 424-1300  
Courriel : [ag.info.omafra@ontario.ca](mailto:ag.info.omafra@ontario.ca)  
Bureau régional du Nord de l'Ontario :  
1 800 461-6132

[www.ontario.ca/maaaro](http://www.ontario.ca/maaaro)

